

УДК 004.891

И.В. Шостак<sup>1</sup>, М.А. Данова<sup>1</sup>, Р.Б. Капитан<sup>2</sup><sup>1</sup> *Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков*<sup>2</sup> *Черкасский государственный технологический университет, Черкассы*

## РАЗРАБОТКА ТИПОВОГО ФРАГМЕНТА МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ КООРДИНИРУЮЩИХ РЕШЕНИЙ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

*Описана технология разработки типового фрагмента производственной системы поддержки принятия решений (СППР) по организации производства на промышленных предприятиях. В отличие от известных производственных систем с искусственным интеллектом, данная СППР не только реализована в форме экспертной системы, но и допускает, за счет применения мультиагентной технологии, возможность интеграции различных центров принятия решений на предприятии, для формирования комплексных решений по координации производственных процессов. Обоснован выбор архитектуры агентов путем сравнения возможностей простого реактивного агента и агента типа BDI (Belief-Desire-Intension). Показано, что мультиагентная система, состоящая только из простых реактивных агентов, способна поддерживать процессы формирования, в среде СППР, координирующих решений по организации производства. Приведен вариант интеграции мультиагентной СППР с другими производственными информационными системами на примере пакета прикладных программ «Компас-Автопроект».*

**Ключевые слова:** промышленное предприятие, искусственный интеллект, экспертная система, мультиагентная технология, поддержка принятия решений, координирующие решения.

### Введение

На современном этапе развития машиностроительного производства эффективное управление им стало невозможным без применения методов и средств искусственного интеллекта [1, 2] и инженерии знаний [3, 4] (в основном в форме экспертных систем [5]), поскольку сложность объектов управления уже не допускала построения и реализации адекватных аналитических моделей.

Специфика машиностроительного производства и организации технологической службы приводит к тому, что основная работа по технологической подготовке производства (ТПП) и составлению технологической документации ложится на большое количество исполнителей (в основном на технологов в цеховых бюро), которые выполняют написание технологических процессов для своих производственных подразделений [6].

Весь комплекс задач ТПП образует многоуровневую структуру, состоящую из последовательности подсистем, объединенных информационными потоками. Результатом решения всего комплекса задач является конструкторско-технологическая документация для детали, необходимая для ее изготовления. При этом должны быть выполнены все эксплуатационные свойства, как заданные характеристики деталей, так и всего изделия в целом, в состав которого входит конструируемая деталь. Реализация указанного комплекса задач предполагает решение целого ряда более мелких задач разными исполнителями на разных уровнях иерархии управления производством.

Проектирование технологического процесса является сложной, плохо формализуемой задачей, имеющей следующие особенности [7]:

- многозадачность процесса проектирования и многовариантность принимаемых решений;
- разнородность конструктивно-технологических свойств изделий;
- сложность их представления в виде комплексной математической модели;
- разнородность технологических операций, применяемых при изготовлении изделий (установка, механообработка при образовании отверстий, покрытие, снятие припусков, деформирование и т.д.);
- сложность структуры технологического процесса (декомпозиция процесса).

Одной из особенностей принятия решений при ТПП является то, что технологическая проработка деталей и узлов проводится на уровне цехов (цеховыми технологами в бюро), причем технологические процессы на отдельные детали и агрегаты создаются обособленно и могут не учитывать общую стратегию окончательной сборки изделия [7, 8]. В тоже время, во входящей конструкторской документации могут быть также не учтены особенности сборки изделия в целом. Указанные обстоятельства приводят к необходимости повышения эффективности производственных процессов за счет разработки и внедрения, наряду с уже существующими информационными системами, интеллектуальных систем нового типа, способных поддерживать формирование комплексных решений, координирующих действия многих членов производственного коллектива.

Целью статьи является изложение подхода к созданию средств поддержки принятия решений производственным персоналом предприятия авиационного профиля, в форме набора взаимосвязанных типовых элементов, каждый из которых представляет собой экспертную систему. Такой подход дает возможность развертывания единого поля данных и знаний в рамках предприятия, что обеспечивает возможность автоматизации формирования комплексных производственных решений. Показаны возможности интеграции разработанных средств с уже существующими на предприятии информационными системами.

### 1. Обоснование выбора архитектуры агента для разработки мультиагентной системы поддержки принятия координирующих решений

На начальной стадии разработки мультиагентной системы поддержки принятия решений (МСППР) необходимо определить тип агентов, а также их номенклатуру, исходя из специфики задач, которые будут решаться с помощью МСППР.

Ниже приведены два варианта архитектур самых распространенных агентов: простая реактивная архитектура и архитектура агента типа BDI (Belief-Desire-Intension) [9].

Архитектура реактивного агента, представленная на рис. 1, характеризуется простотой, но в то же время предоставляет большую детерминированность в действиях, т.е. в каждый момент времени можно охарактеризовать поведение агента в зависимости от ситуации. В частности, архитектура простого реактивного агента, способна адекватно описать поведение гибридного автомата, представленного в виде графа переходов [10]. Указанная особенность очень важна, поскольку в качестве математического аппарата для описания процессов формирования координирующих решений в среде МСППР были выбраны именно гибридные автоматы [10].

Архитектура BDI, показанная на рис. 2, сложнее архитектуры простого реактивного агента. Агент типа BDI способен реализовать такие действия как желания, убеждения и предпочтения с помощью соответствующих функциональных блоков, что позволяет довольно тонко регулировать поведение агента, но в тоже время указанная особенность снижает предсказуемость его поведения. Вместе с тем, характер задач, которые призвана решать разрабатываемая МСППР, дает возможность ограничить номенклатуру агентов лишь одним типом – простым реактивным.

Область применения мобильных агентов в основном ограничивается веб-технологиями, а также использованием «персональных помощников» PDA (PersonalDigitalAssistant). Стандарты же FIPA напротив, описывают архитектуру мультиагентной

системы и структуру самого агента, делая в основном упор на реализуемые агентами функции, и таким образом, могут являться основой для синтеза промышленной системы поддержки принятия координирующих решений на машиностроительном предприятии. Кроме того, стандартах FIPA описывается возможность интеграции агентной системы с существующим программным обеспечением, что является важным свойством создаваемой системы.

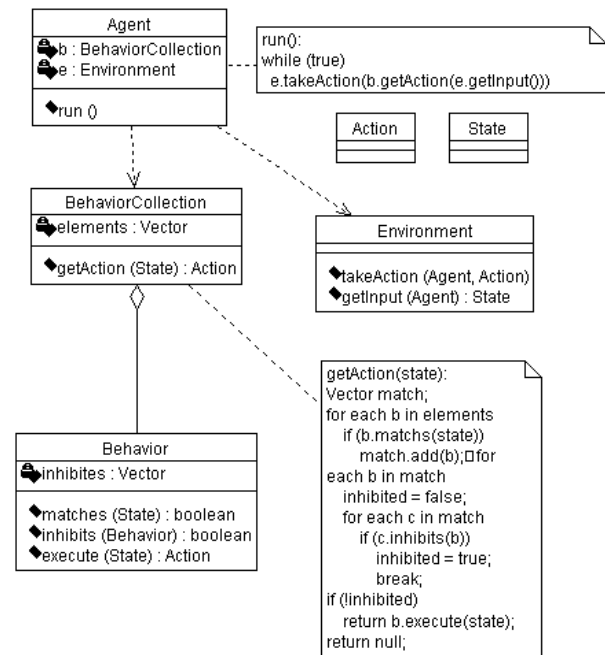


Рис. 1. Архитектура простого реактивного агента

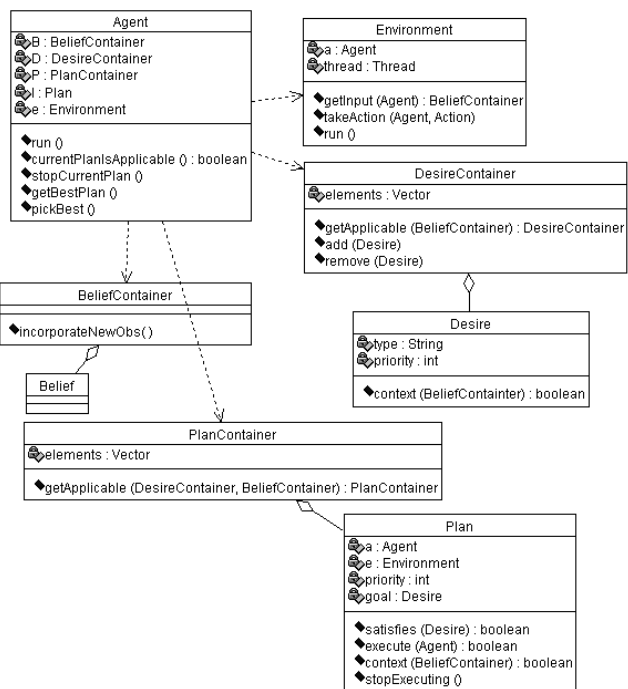


Рис. 2. Архитектура агента типа Belief-Desire-Intension (BDI)

Приведем наиболее значимые сравнительные характеристики агентных платформ по 2 стандартам.

**OMG MASIF** (Object Management Group):

- управление агентами;
- перенос агентов;
- именованье;
- типы агентных систем;
- учет агентов.

**FIPA** (Foundation for Intelligent Physical Agents):

- управление агентами (White pages, Yellow pages, Directory facilitator);
- агентная платформа (Name system, Directory, agent management);
- взаимодействие агентов (сообщения, формальная семантика, протоколы);
- интеграция с существующим ПО (ARB, Wrapper, интеграция систем без агентов);
- сервис онтологий (термины, аксиомы, связи, запросы) [11];
- дополнительные типы агентов (промышленные).

Модель агентной платформы согласно стандартам FIPA изображена на рис. 3. Сравнительные характеристики наиболее распространенных агентных платформ приведены ниже в табл. 1.

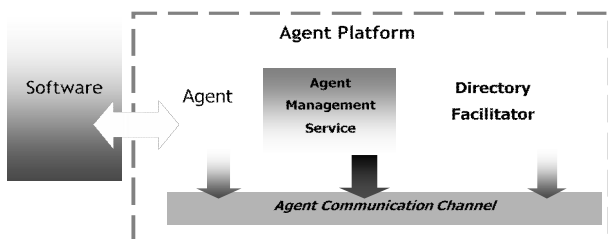


Рис. 3. Модель агентной платформы согласно стандартам FIPA

Таблица 1

Наиболее распространенные агентные платформы

Платформа	Особенности
FIPA OS	Оболочка, поддерживающая основные стандарты FIPA, для создания интеллектуальных агентов. Содержит среду, планировщик задач. Канал сообщений, оболочку для агентов формата JESS. Поддержка RMI, HTTP.
JADE	JavaAgentDevelopmentFramework, позволяющая распределять агентов по вычислительным платформам, удаленно конфигурировать. Допускает размещение агентов на мобильных устройствах.
Grasshopper	Попытка реализовать платформу, поддерживающую оба стандарта (OMG MASIF и FIPA). Используется в основном для исследовательских проектов.
Zeus	Платформа для создания распределенных мультиагентных систем, реализующих коллаборативные принципы работы
JINI	Обеспечивает предоставление базовых сервисов для мобильных агентов, неполноценная агентная платформа
Agent Builder	Коммерческая платформа и средства для разработки интеллектуальных агентов и агентных приложений. Поддерживает стандарт обмена знаниями KQML, а также кросс-платформенное размещение на основе CORBA.
BeeGent	Основана на понятиях «состояние» и «переход». Поддерживает агент-оболочку для интеграции существующего ПО. Совместима со стандартом FIPA. Платная.
Agent Farm	Автономные агенты фреймворка структуры. Платформа использует Java.
Aglets	Открытая разработка фирмы IBM. Основная идея – создание мобильных перемещаемых в рамках Java-окружения интернет-агентов. Использует собственный сервер Tahiti.

Исходя из возможного использования системы в качестве дополнительной (надстройки) к существующей можно сделать вывод о необходимости выбора стандартов FIPA как наиболее подходящего для такого типа систем ввиду возможности интеграции их с уже существующими.

На основании обзора агентных систем были выбраны стандарты FIPA [12] на создание программных агентов, поскольку именно эти стандарты полностью реализуют идеи интеграции МСППР с уже существующими на предприятии информационными системами.

Общая схема интеграции представлена на рис. 4, где коммуникационный канал представлен в виде протокола обмена сообщениями между агентами.

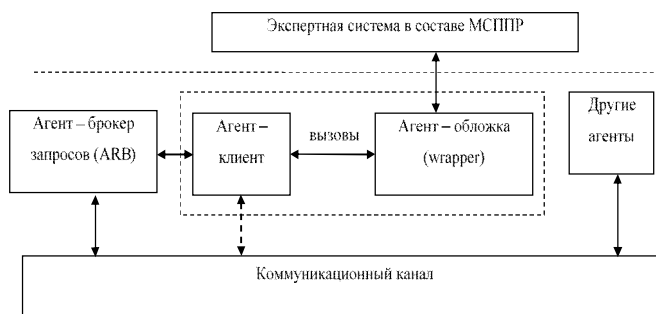


Рис. 4. Схема интеграции МСППР с существующим на предприятии программным обеспечением

При этом агент-брокер используется только при реализации МСППР на основе технологии CORBA, агент-обложка реализован в виде модуля, вызывающего функции программного интерфейса существующего программного обеспечения (например, API САПР ТП «Компас-Вертикаль»), агент-клиент представляет собой типовой блок МСППР (то есть координатор и распознаватель, связанных между собой).

После выбора типа агентной платформы для реализации МСППР, была синтезирована типовая структура блока принятия решений, описываемого гибридным автоматом. Для общения между агентами использован стандартный агентный «язык» KQML [13], но по причине необходимости передачи информации лишь в форме предикатов, для конкретной реализации был выбран формат обмена на основе XML. С его помощью была реализована передача предикатов в создаваемой системе (например, для обмена информацией между координатором и распознавателем).

После представления структуры решающего блока (агента) была синтезирована обобщенная структуратипового фрагмента в составе МСППР.

На рис. 5 показана функциональная схема автоматной реализации МСППР по формированию координирующих решений при технологической подготовке сборочного производства.

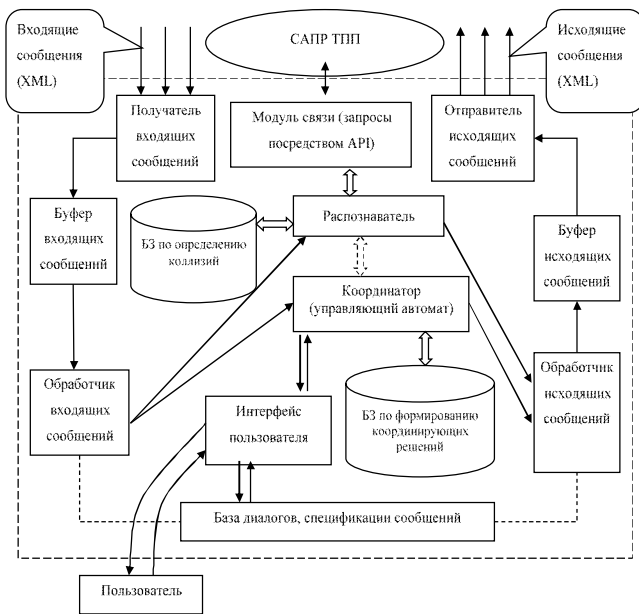


Рис. 5. Функциональная схема автоматной реализации МСППР по формированию координирующих решений

Интеграция МСППР с уже используемым на предприятии программным обеспечением показана на примере пакета «Компас-Автопроект», который

чаще всего используется на отечественных самолетостроительных предприятиях и имеет развитый программный интерфейс, позволяющий получать всю необходимую информация как о технологическом процессе сборки или изготовления детали (вплоть до отдельных переходов), так и о параметрах каждой операции таких технологических процессов. Программный комплекс КОМПАС-Автопроект состоит из двух взаимосвязанных подсистем:

- КОМПАС-Автопроект-Спецификации;
- КОМПАС-Автопроект-Технология.

В первой из названных подсистем концентрируются технологические задачи, связанные с составом изделия, а во второй – с проектированием технологических процессов. Такая схема построения продиктована необходимостью интеграции технологического модуля с PDM-системами – как собственными, так и внешними. Также обеспечивается возможность доступа ко всей информации в системе через развитый программный интерфейс (Application Programming Interface – API).

На рис. 6 изображена диаграмма развертывания МСППР и один из возможных вариантов ее интеграции с существующими компонентами информационной системы цехового уровня.

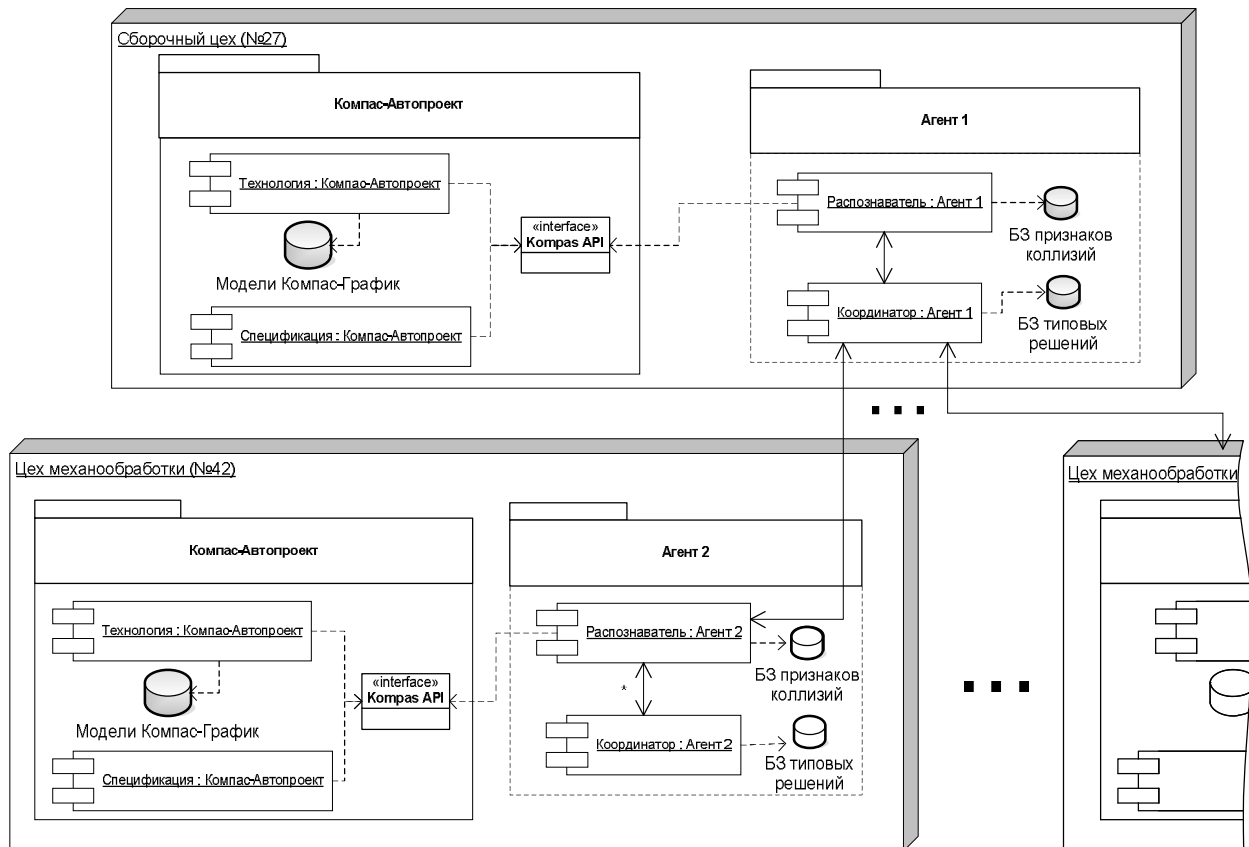


Рис. 6. Место МСППР по формированию координирующих решений при сборке самолетных конструкций в общей структуре АСУ уровня цеха (на примере интеграции с системой «Компас-Автопроект»)

Разработанная МСППР была протестирована на примере формирования документа «Техническое

состояние поставки деталей на сборку» для сборочного цеха самолетостроительного предприятия.

## Выводы

1. Описана технология разработки типового фрагмента производственной системы поддержки принятия решений по организации производства на промышленных предприятиях авиационного профиля, которая в отличие от известных производственных систем с искусственным интеллектом, дает возможность, за счет применения мультиагентной технологии, интеграции различных центров принятия решений на предприятии, для формирования комплексных решений по координации производственных процессов. Обоснован выбор архитектуры агентов путем сравнения возможностей простого реактивного агента и агента типа BDI (Belief-Desire-Intension).

2. Показано, что мультиагентная система, состоящая только из простых реактивных агентов, способна поддерживать процессы формирования, в среде СППР, координирующих решений по организации производства.

3. Приведен вариант интеграции МСППР с другими производственными информационными системами на примере пакета прикладных программ «Компас-Автопроект».

## Список литературы

1. *Интеллектуальные системы принятия проектных решений [Текст] / А.В. Алексеев, А.Н. Борисов, Э.Р. Вилломс, Н.Н. Слядзь, С.А. Фомин. – Рига: Зинатне, 1997. – 320 с.*
2. *Люгер, Джордж Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения [Текст] : пер. с англ. / Джордж Ф. Люгер. 4-е изд. – М.: Вильямс, 2004. – 864 с.*

3. *Гаврилова, Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем [Текст] / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2000. – 384 с.*

4. *McGuire, J.M. SHADE: Technology for Knowledge-Based Collaborative Engineering [Electronic resource] / J.M. McGuire, D.R. Kuokka, J.C. Weber // Journal of Concurrent Engineering: Applications and Research. – 1993. – v.1 (3) - Access mode: <http://citeseer.ist.psu.edu/mcguire93shade.html>*

5. *Джарратано, Дж. Экспертные системы: принципы разработки и программирование [Текст] / Дж. Джарратано, Г. Райли – М.: Вильямс, 2006. – 1152 с.*

6. *Пазайтис, В.С. Экономико-математическое моделирование производственных систем [Текст] / В.С. Пазайтис, Ю.В. Львов – М.: Высшая шк., 1991. – 191 с.*

7. *Технология сборки самолетов [Текст] / Еришов В.И. [и др.] – М.: Машиностроение, 1986. – 213 с.*

8. *Технология самолетостроения [Текст] / А.Л. Абибов, Н. М. Бирюков, В. В. Бойцов [и др.] ; под общ. ред. А. Л. Абибова. – М.: Машиностроение, 1970. – 598 с.*

9. *Ландсберг, С.Е. Некоторые аспекты проектирования мультиагентных систем с использованием языка UML [Текст] / С.Е. Ландсберг, А.А. Хованских // Вестник ВГТУ. – Воронеж, 2012. – №9. – С. 4-8.*

10. *Савельев, А.Я. Прикладная теория цифровых автоматов [Текст] / А.Я. Савельев. – М.: Высш. шк., 1987. – 272 с.*

11. *Лапиин В.А. Онтологии в компьютерных системах [Текст] / В.А. Лапиин. – М.: Н. мир, 2010. – 224 с.*

12. *Standard FIPA specifications [Electronic resource] - Access mode: <http://fipa.org/repository/standardspecs.html>.*

13. *Finin, T. KQML as an Agent Communication Language [Text] / T. Finin, Y. Labrou, J. Mayfield // Software Agents. – Forthcoming: MIT Press, 1995. – P. 318 - 326.*

Надійшла до редколегії 31.10.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С.Г. Семенов, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків.

## РОЗРОБКА ТИПОВОГО ФРАГМЕНТУ МУЛЬТИАГЕНТНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ КООРДИНУЮЧИХ РІШЕНЬ З ОРГАНІЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА НА ПРОМИСЛОВОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

I.V. Shostak, M.O. Danova, R.B. Capitan

*Описана технологія розробки типового фрагменту виробничої системи підтримки прийняття рішень (СППР) з організації виробництва на промислових підприємствах. На відміну від відомих виробничих систем зі штучним інтелектом, дана СППР не тільки реалізована у формі експертної системи, а й допускає, за рахунок застосування мультиагентної технології, можливість інтеграції різних центрів прийняття рішень на підприємстві, для формування комплексних рішень по координації виробничих процесів. Обґрунтовано вибір архітектури агентів шляхом порівняння можливостей простого реактивного агента і агента типу BDI (Belief-Desire-Intension). Показано, що мультиагентна система, що складається тільки з простих реактивних агентів, здатна підтримувати процеси формування, в середовищі СППР, які координують рішень по організації виробництва. Наведено варіант інтеграції мультиагентної СППР з іншими виробничими інформаційними системами на прикладі пакета прикладних програм «Компас-Автопроект».*

**Ключові слова:** промислове підприємство, штучний інтелект, експертна система, мультиагентна технологія, підтримка прийняття рішень, координуючі рішення.

## DEVELOPMENT OF A TYPICAL FRAGMENT OF COORDINATING DECISION MAKING SUPPORT MULTIAGENT SYSTEM ON THE ORGANIZATION OF PRODUCTION AT THE INDUSTRIAL ENTERPRISE

I.V. Shostak, M.O. Danova, R.B. Capitan

*The technology of development of a standard fragment of the production decision-making support system (DMSS) for the organization of production at the industrial enterprises is described. Unlike the known production systems with an artificial intelligence, this DMSS not only is realized in the form of expert system, but also allows, due to use of multiagent technology, ability to integrate different centers of decision-making at the enterprise, for formation of complex solutions for the coordination of production processes. The choice of architecture of agents by comparing of opportunities of the ordinary reactive agent and the agent like BDI (Belief-Desire-Intension) is reasonable. It is shown that the multiagent system consisting only of ordinary reactive agents is capable to support formation processes, in the environment of DMSS, the coordinating decisions on the organization of production. The option of integration of multiagent DMSS with other production information systems on the example of an application program package of "Kompass-AutoProject" is given.*

**Keywords:** the industrial enterprise, an artificial intelligence, expert system, multiagent technology, the decision-making support coordinating decisions.